การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่งด้วยแนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่า : กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางแท่ง

Reducing of the Wasting Time in the Dirt Testing Process of Rubber by Lean Six Sigma Approach : A Case Study in a Rubber Factory

นิภาส ลีนะธรรม[1*] วีระยุทธ สุดสมบูรณ์[2] ฉัตรชัย แก้วดี[2] และ อดิศร ไกรนรา[3]
Nipas Leenatham[1*], Weerayute Sudsomboon[2], Chatchai Kaewdee[2] and Adisorn Krainara[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง ภายใต้ข้อจำกัดที่เป็นไปได้และอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด จากการศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบันพบว่า ก่อนการปรับปรุงกระบวนการมีเวลาสูญเสียสูงกว่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนด โดยมีสาเหตุหลัก ได้แก่ เตาให้ความร้อนได้ช้าและยางตัวอย่างที่สุ่มมีน้ำหนักไม่เท่ากัน จากการปรับปรุงด้วยแนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่า ได้ทำการเปลี่ยนฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนเป็นแบบหลอดอินฟราเรดและทำการปรับปรุงแก้ไขคู่มือการปฏิบัติงาน เรื่องวิธีการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในขั้นตอนการละลายยาง หลังจากได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามแนวทางวิธีการที่กำหนดพบว่า หลังการปรับปรุงกระบวนการ เวลาสูญเสียอยู่ในมาตรฐานที่โรงงานกำหนด ซึ่งลดลงจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 55.65 มีค่าสมรรถภาพกระบวนการหลังการปรับปรุง C_{pk} เท่ากับ 2.47 แสดงว่ากระบวนการอยู่ในเกณฑ์ดี จากข้อมูลกระบวนการหลังการปรับปรุงไม่พบความสูญเสียเลย โดยช่วงความเชื่อมั่นของกระบวนการเท่ากับ $1.78 < C_{pk} < 3.16$ จากการประเมินจุดคุ้มทุนของโครงการคิดเป็น 1.46 ปี

คำสำคัญ: แนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่า มาตรฐานยางแท่งไทย

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
[3] สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
* Corresponding author e-mail: Nipas.lee@sru.ac.th

Received: 24 September 2019, Revised: 24 December 2019, Accepted: 27 December 2019

Abstract

This research is purpose to reduce the wasting time in the testing process to find the quantity of dirt in the block rubber under possible limitations and be within standard defined. From the studying of problem condition in the testing process to find the quantity of dirt in the block rubber at Quality control department found that before the process improvement, there is waste of time higher than the standard was set by factory. The mainly caused is due to electric heater cannot heat dissipation all over the stove and take time to boil the sample for too long which is not catch up to sampling to be tested and affected to testing process to find the quantity of dirt in the block rubber is lack of efficiency and after improved by Lean Six Sigma. Therefore, it has been improved the process by changing from the heater that is heated by an electric heater to be infrared heater instead to reduce waste time and increase the test efficiency. It was found that can increase the number of samples in the test and process capability (C_{pk}) is 2.47 which shown that the process is very good and from the confirmation of the results, no loss was found by the reliability range of the process is $1.78 < C_{pk} < 3.16$ and from the project found that the break-even point is 1.46 years.

Keywords: Lean Six Sigma approach, Standard Thai Rubber

บทนำ

อุตสาหกรรมยางธรรมชาติเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของไทย เป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าการส่งออกสูง ในปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยได้ส่งออกไปยังประเทศต่าง ๆ เช่น ประเทศจีน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา มาเลเซีย เกาหลีใต้ และในทวีปยุโรป มีปริมาณการส่งออก 3.75 ล้านตัน ของปริมาณการผลิต 4.47 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออกรวม 3.75 ล้านล้านบาท (สุธี และคณะ, 2560) อุตสาหกรรมยางธรรมชาติเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปขั้นต้น ที่ได้มีการนำเอาน้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยางพารามาแปรรูปให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม และสะดวกต่อการนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพาราต่อไป ยางที่ผลิตในขั้นต้นประกอบด้วย ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง ยางเครป และน้ำยางข้น ส่วนยางแผ่นดิบ เศษยาง และน้ำยางสด เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิต ผลิตภัณฑ์ยางพาราขั้นต้น ซึ่งยางพาราเหล่านี้จะเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เช่น ยานพาหนะ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย และยางรัดของ เป็นต้น เปรียบเสมือนการป้อนวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมปลายน้ำ ซึ่งอุตสาหกรรมการผลิตยางแท่ง ก็เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมยางที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทย

ในกระบวนการผลิตยางแท่ง ใช้วัตถุดิบจากเศษยางและยางแผ่น เพื่อที่จะนำไปแปรรูป โดยมีขั้นตอนในกระบวนการผลิตยางแท่ง ตั้งแต่กระบวนการรับวัตถุดิบ กระบวนการทำความสะอาด

กระบวนการผสม กระบวนการอบแห้ง กระบวนการบรรจุภัณฑ์ และกระบวนการควบคุมคุณภาพ ทุกส่วนล้วนมีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตยางแท่ง และเนื่องจากในปัจจุบันมีการแข่งขันในอุตสาหกรรมประเภทนี้สูงมาก ดังนั้นผู้ผลิตยางแท่งต้องทำการพัฒนาและปรับปรุงทั้งในส่วนบุคลากร เครื่องจักร วัตถุดิบ และวิธีการต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสินค้าให้สูงขึ้นและตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า โดยเฉพาะกระบวนการควบคุมคุณภาพ เพราะคุณภาพมีความเกี่ยวข้องกับต้นทุนการผลิต หน้าที่การใช้งาน ตลอดจนรูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์ และถ้าการผลิตขาดกระบวนการควบคุมคุณภาพ ผลผลิตที่ได้ก็จะขาดคุณภาพ กระบวนการควบคุมคุณภาพจึงถือว่าเป็นความจำเป็นของกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลผลิตได้มาตรฐานตามต้องการ และในส่วนของกระบวนการควบคุมคุณภาพของการผลิตยางแท่ง มีการทดสอบตามมาตรฐานยางแท่งเอสทีอาร์ ได้แก่ ทดสอบปริมาณสิ่งสกปรก ทดสอบความอ่อนตัวเริ่มแรก ทดสอบดัชนีความอ่อนตัว ทดสอบปริมาณเถ้า ทดสอบปริมาณสิ่งระเหย และทดสอบปริมาณไนโตรเจนของยาง (สถาบันวิจัยยาง, 2561) โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่แตกต่างกันออกไป

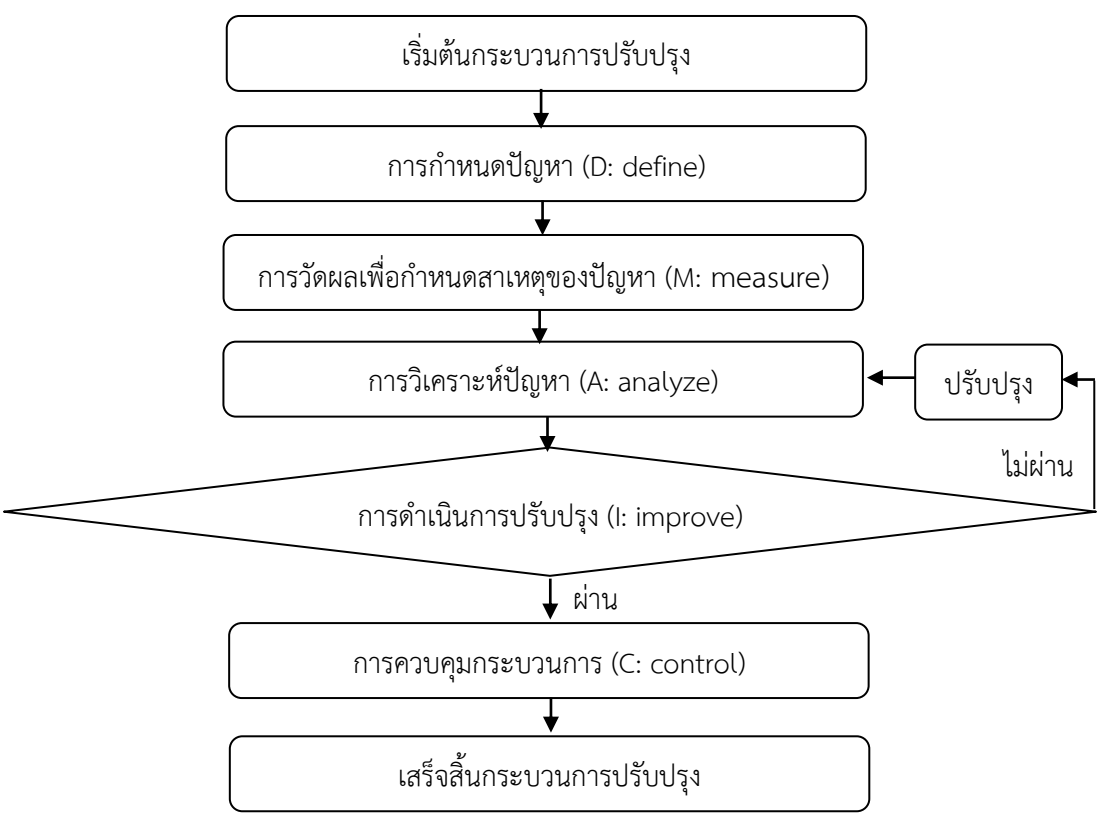
ในปัจจุบันเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิตยางแท่ง ตั้งแต่เดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 พบว่ามีเวลาสูญเสียเฉลี่ย 9,722 นาที คิดเป็นร้อยละ 27.01 ของเวลาที่ใช้ในกระบวนการทั้งหมด ทั้งนี้หากพิจารณาเวลาสูญเสียในแต่ละกระบวนการผลิต พบว่ากระบวนการควบคุมคุณภาพมีเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนสูงสุด คือ 4,818 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 49.56 ของเวลาสูญเสียในกระบวนการทั้งหมด งานวิจัยนี้จึงมุ่งลดเวลาสูญเสียที่กระบวนการควบคุมคุณภาพ ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีเวลาสูญเสียมากที่สุด หลังจากนั้นทำการพิจารณาเวลาสูญเสียในกระบวนการควบคุมคุณภาพโดยการนำแผนภาพพาเรโตมาประยุกต์ใช้ พบว่าการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรก มีเวลาสูญเสียเฉลี่ยสูงสุด คือ 3,860 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 80.12 ของเวลาสูญเสียในการทดสอบทั้งหมด ดังนั้นงานวิจัยนี้เลือกปรับปรุงกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่งเป็นโจทย์วิจัยหลักต่อไป และเพื่อที่จะลดเวลาสูญเสียจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคที่มีความเหมาะสมในการปรับปรุง ซึ่งแนวคิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย คือ แนวคิดระบบการผลิตแบบลีนซิกซ์ซิกม่า (Lean Six Sigma) คือ มุ่งเน้นการจัดการความสูญเปล่าทั้ง 7 ประการ และการแก้ปัญหาโดยใช้หลักซิกซ์ซิกม่า (DMAIC) ถือได้ว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพ อีกทั้งแนวคิดดังกล่าวถือว่าเป็นการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างผลกำไร โดยการกำจัดความแปรปรวน ลดความสูญเสียต่าง ๆ และเป็นการเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนิพนธ์และผจงจิต (2562) ใช้แนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่าเพื่อทำการค้นหาสาเหตุและวิธีการแก้ปัญหายางแท่งแห้งไม่สมบูรณ์ในขั้นตอนการอบด้วยความร้อน ผลการแก้ปัญหาพบว่า ปริมาณยางแท่งแห้งไม่สมบูรณ์ลดลงร้อยละ 72.25 อำนาจ (2562) ใช้แนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่าเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรโดยใช้ใบตรวจสอบแผนภูมิพาเรโตและแผนภาพสาเหตุและผลในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหาพบว่า จำนวนของเสียลดลงจากเดิมร้อยละ 34.78 ศุภวัชร์และจีรวัฒน์ (2560) ทำการลดของเสียในกระบวนการผลิตโพลิเมอร์โซลิดคาปาซิเตอร์ด้วยแนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่าโดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนวัสดุการผลิต การปรับปรุงวิธีการผลิต และการเพิ่มเติมเครื่องมือ อุปกรณ์สนับสนุนการผลิตเพื่อให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจากการดำเนินการดังกล่าวทำให้สามารถลดของเสียในกระบวนการผลิต

ขายึดเหล็กใต้ครอบจากร้อยละ 10.66 เหลือร้อยละ 5.25 นิภาสและคณะ (2560) ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดเวลาสูญเสียในแผนกคลังสินค้าด้วยแนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่า ผลการแก้ปัญหาพบว่าค่าสมรรถภาพกระบวนการ เท่ากับ 1.75 แสดงว่ากระบวนการอยู่ในเกณฑ์ดีมากและเวลาสูญเสียในกระบวนการไม่เกินค่ามาตรฐาน

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ทำการลดเวลาสูญเสียกระบวนการควบคุมคุณภาพในการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง โดยใช้แนวคิดระบบการผลิตแบบลีนซิกซ์ซิกม่า เพื่อปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นยังเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกัน และเผยแพร่ผลงานวิจัยต่อสถานประกอบการผลิตยางแท่งต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าตามขั้นตอนของกระบวนการวิจัยจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงได้กำหนดขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยการประยุกต์ใช้แนวทางการแก้ปัญหาตามแนวคิดระบบการผลิตแบบลีนซิกซ์ซิกม่า (Breyfogle III, 2003) ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน คือ การกำหนดปัญหา (D: define) การวัดผลเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (M: measure) การวิเคราะห์ปัญหา (A: analyze) การดำเนินการปรับปรุง (I: improve) การควบคุมกระบวนการ (C: control) ซึ่งรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

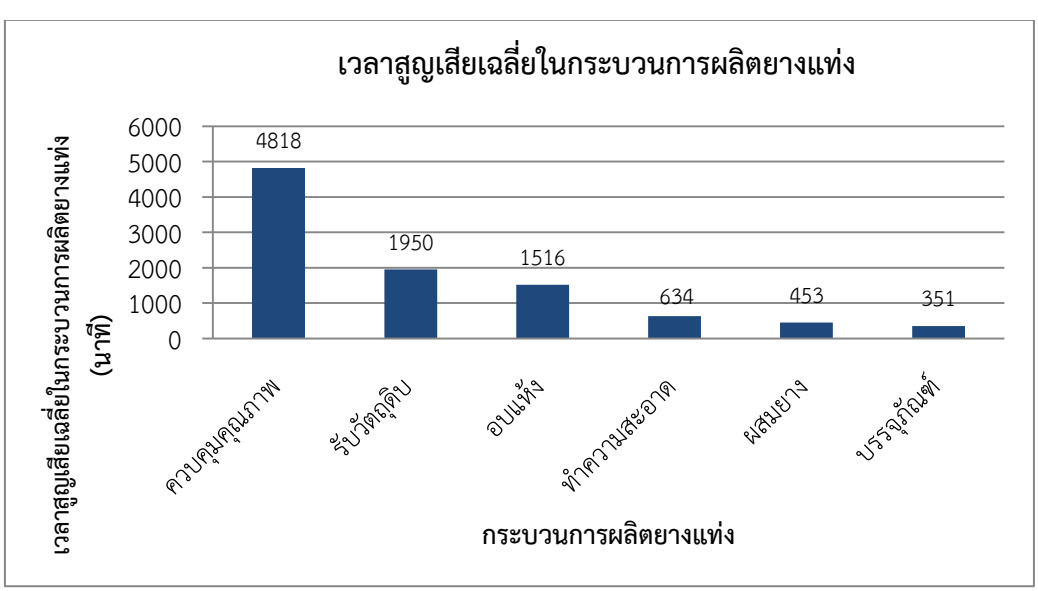
การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ (process capability analysis: C_{pk}) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้เพื่อกำหนดความสามารถของกระบวนการผลิตว่าสามารถผลิตสินค้าได้ตรงตามข้อกำหนด (specification limit) หรือไม่ ซึ่งความสามารถของกระบวนการคือ ความสม่ำเสมอ (uniform) ของกระบวนการ โดยจะมีการวัดความสม่ำเสมอจากความแปรเปลี่ยนภายในกระบวนการ ด้วยค่าลักษณะคุณภาพของผลผลิตจากกระบวนการนั้น (Montgomery, 2005) โดยความหมายของค่า C_{pk} มีดังนี้

1) $C_{pk} < 1$ กระบวนการแย่
2) $C_{pk} = 1$ กระบวนการเกือบจะใช้ไม่ได้
3) $1 < C_{pk} < 1.33$ กระบวนการพอใช้ได้
4) $C_{pk} > 1.33$ กระบวนการดีมาก

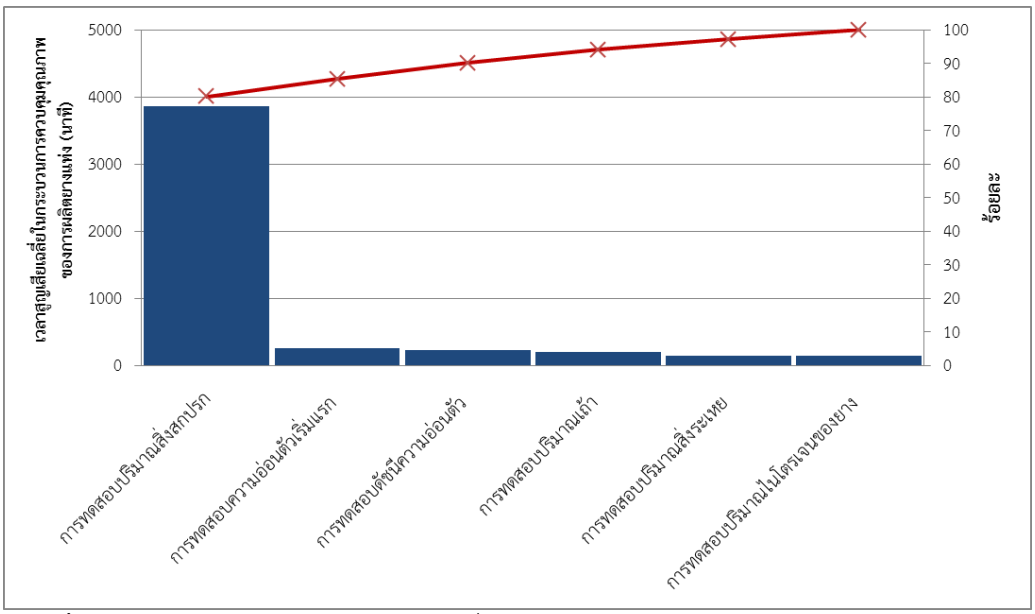
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การกำหนดปัญหา

จากการศึกษาข้อมูลเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิตยางแท่ง ตั้งแต่เดือนกันยายน - ธันวาคม พ.ศ. 2561 พบว่ามีเวลาสูญเสียเฉลี่ย 9,722 นาที คิดเป็นร้อยละ 27.01 ของเวลาที่ใช้ในกระบวนการทั้งหมด โดยใช้หลักการศึกษาการทำงาน (work study) เพื่อแยกเวลาสูญเสียของกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการรับวัตถุดิบ กระบวนการทำความสะอาด กระบวนการผสม กระบวนการอบแห้ง กระบวนการบรรจุภัณฑ์ และกระบวนการควบคุมคุณภาพ ทั้งนี้หากพิจารณาเวลาสูญเสียในแต่ละกระบวนการผลิต พบว่ากระบวนการควบคุมคุณภาพมีเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิตเฉลี่ยสูงสุด คือ 4,818 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 49.56 ของเวลาสูญเสียในกระบวนการทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 2 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งลดเวลาสูญเสียที่กระบวนการควบคุมคุณภาพซึ่งเป็นกระบวนการที่มีเวลาสูญเสียมากที่สุด



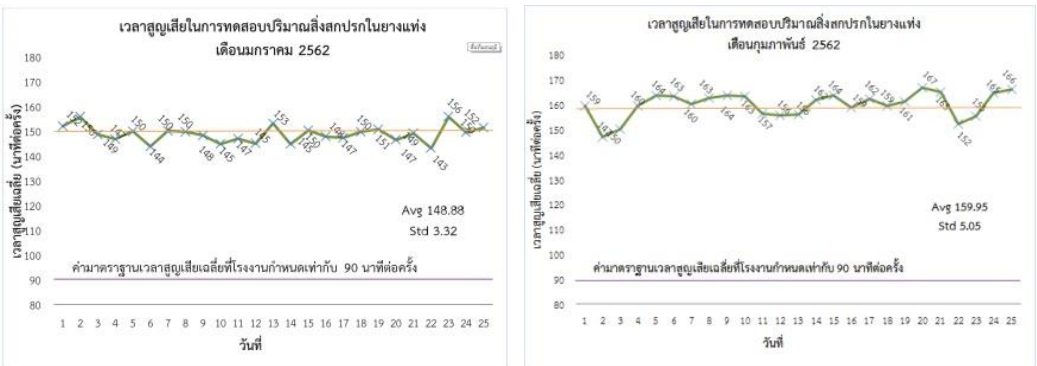
ภาพที่ 2 เวลาสูญเสียเฉลี่ยในกระบวนการผลิตยางแท่ง



ภาพที่ 3 แผนภาพพาเรโตของเวลาสูญเสียเฉลี่ยในกระบวนการควบคุมคุณภาพของการผลิตยางแท่ง

หลังจากพิจารณากระบวนการผลิตยางแท่งเพื่อทำการศึกษาแล้วนั้น จึงทำการเลือกพิจารณาเวลาสูญเสียในกระบวนการควบคุมคุณภาพตามเหตุผลข้างต้น ซึ่งในส่วนของกระบวนการนี้มีขั้นตอนในการทดสอบ คือ การสุ่ม (random check list) เก็บตัวอย่างยางแท่งเพื่อนำมาทดสอบ และในการทดสอบตามมาตรฐานของยางแท่งมีการทดสอบ ได้แก่ ทดสอบปริมาณสิ่งสกปรก ทดสอบความอ่อนตัวเริ่มแรก ทดสอบดัชนีความอ่อนตัว ทดสอบปริมาณเถ้า ทดสอบปริมาณสิ่งระเหย และทดสอบปริมาณไนโตรเจนของยาง ทั้งนี้หากพิจารณาเวลาสูญเสียในกระบวนการควบคุมคุณภาพโดยการนำแผนภาพพาเรโตมาประยุกต์ใช้ พบว่าการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรก มีเวลาสูญเสียเฉลี่ยสูงสุด คือ 3,860 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 80.12 ของเวลาสูญเสียในการทดสอบทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 3 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง เพื่อดำเนินการปรับปรุงแก้ไขต่อไป ซึ่งในการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกจะสุ่มเก็บตัวอย่างของยางแท่งที่ผลิตแต่ละครั้ง นำเข้าเครื่องรีดสองลูกกลิ้งเพื่อบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วตัดตัวอย่างออกเป็นส่วน ๆ ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ผสมกับน้ำมันสน นำไปต้มบนเตา ที่เรียกว่าฮีตเตอร์ให้ความร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้า (electric heater) โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส ตั้งให้เย็นแล้วนำไปกรองเพื่อหาน้ำหนักสิ่งสกปรก โดยการคำนวณปริมาณสิ่งสกปรกคิดเป็นร้อยละ

ต่อจากนั้นคณะผู้วิจัยได้ทำการเข้าไปศึกษาสภาพปัญหาจริงของกระบวนการควบคุมคุณภาพในการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง โดยทำการเก็บข้อมูลเวลาสูญเสียเพื่อให้แน่ใจว่ากระบวนการมีปัญหาจริงและต้องการแก้ไขปรับปรุง โดยเก็บข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 รวมทั้งหมด 2 เดือน เดือนละ 25 วัน วันละ 6 ครั้ง ใช้ข้อมูลทั้งสิ้น 150 ครั้ง โดยนำข้อมูลมาคำนวณค่าสถิติต่าง ๆ และวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ แสดงดังตารางที่ 1 และภาพที่ 4

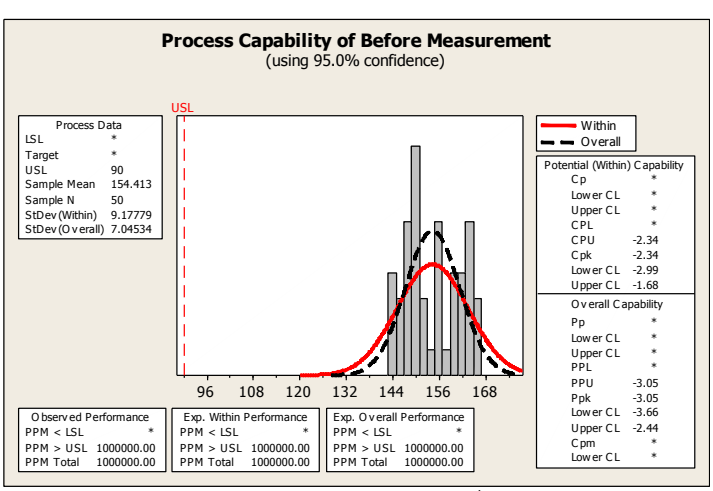


ภาพที่ 4 เวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่งในเดือน มกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562

จากภาพที่ 4 พบว่าเวลาสูญเสียในเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 คิดเฉลี่ยเป็น 148.88 นาทีต่อครั้ง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.32 นาทีต่อครั้ง และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 คิดเฉลี่ยเป็น 159.95 นาทีต่อครั้ง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.05 นาทีต่อครั้ง ส่งผลให้เวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง สูงกว่าค่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนดคือ 90 นาทีต่อครั้ง จึงต้องทำการปรับปรุงโดยทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุในกระบวนการถัดไป

ตารางที่ 1 ค่าสถิติต่าง ๆ จากผลการทดลองก่อนการปรับปรุงเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง ในช่วงระหว่างเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562

ค่าทางสถิติ	ก่อนปรับปรุง
เวลาสูญเสียเฉลี่ย (นาทีต่อครั้ง)	154.413
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นาทีต่อครั้ง)	7.009
ขอบเขตบนเวลาสูญเสียเฉลี่ยที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (นาทีต่อครั้ง)	156.075

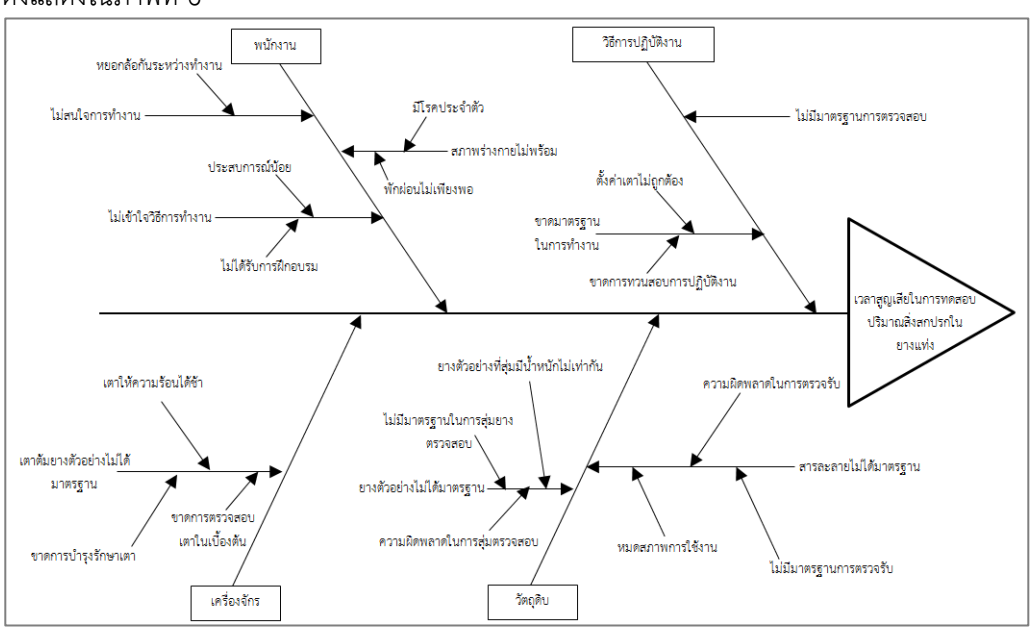


ภาพที่ 5 การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่งก่อนการปรับปรุง

จากภาพที่ 5 แสดงว่าสมรรถภาพกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง ก่อนการปรับปรุงขาดประสิทธิภาพ เนื่องจากมีค่า C_{pk} = - 2.34 ซึ่งค่า C_{pk} < 1.33 แสดงว่ากระบวนการมีขีดความสามารถที่ไม่ดี ควรได้รับการปรับปรุงแก้ไขให้มีประสิทธิภาพต่อไป

2. การวัดผลเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

หลังจากดำเนินการศึกษากระบวนการโดยละเอียดแล้วนั้น ในขั้นตอนนี้จะใช้แผนภาพสาเหตุและผล (cause and effect diagram) ที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลลัพธ์สำหรับปัญหาที่ทำการศึกษา ซึ่งแผนภาพนี้มีส่วนช่วยให้การวิเคราะห์ปัญหามีความง่ายและเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยการระดมสมองของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องร่วมกันแสดงความคิดเห็นเพื่อค้นหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด ความคิดเห็นนี้จะไม่จำกัดปริมาณและคุณภาพของความคิดเพื่อป้องกันการตกหล่นของสาเหตุที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา โดยใช้หลัก 4M (Ramasamy, 2009) ดังแสดงในภาพที่ 6



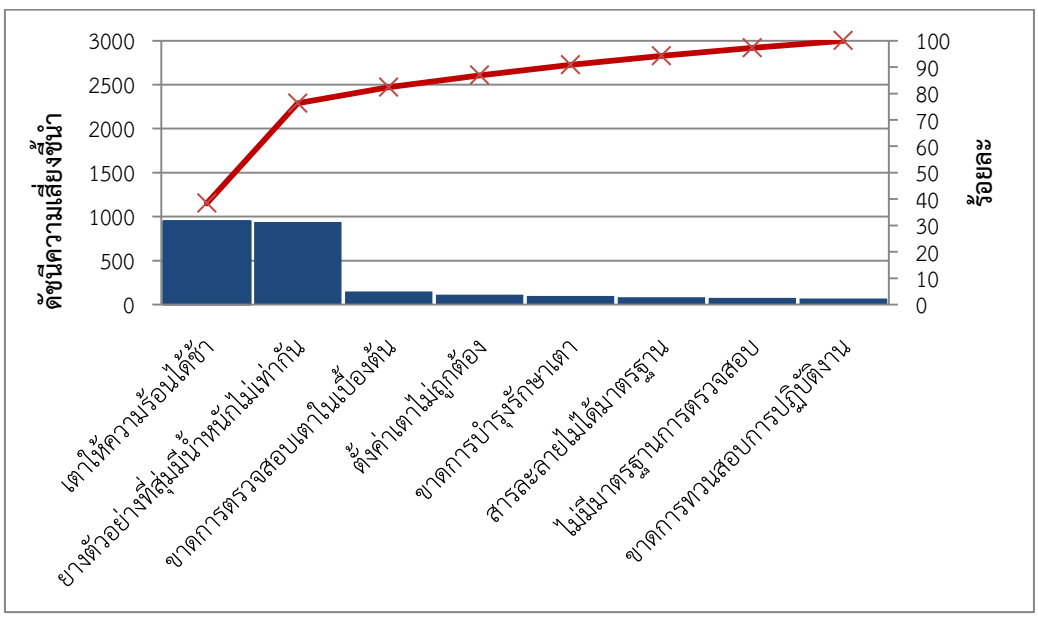
ภาพที่ 6 แผนผังเหตุและผลของเวลาสูญเสียในการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง

สาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียในการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่งแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน คือ สาเหตุที่เกิดพนักงาน เครื่องจักร วิธีการปฏิบัติงาน และวัตถุดิบ ทั้งนี้สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน ได้แก่ ไม่สนใจการทำงาน สภาพร่างกายไม่พร้อม ไม่เข้าใจวิธีการทำงาน ถือว่าเป็นสาเหตุจากบุคคล ดังนั้นจะไม่นำสาเหตุดังกล่าวมาพิจารณาแต่แก้ไขโดยการฝึกอบรมพนักงานต่อไป

3. การวิเคราะห์ปัญหา

จากการวัดผลเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาข้างต้นนำไปสู่การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (failure mode and effect analyze process: FMEA) เป็นเทคนิคหรือกระบวนการอย่างเป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์กิจกรรมในกระบวนการผลิต โดยการชี้บ่งปัญหาหรือข้อบกพร่องใด ๆ ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในกิจกรรมนั้น โดยการพิจารณาจากดัชนีความเสี่ยงชี้นำ (risk priority number:

RPN) ซึ่งได้จากการประเมินค่าความรุนแรง (severity) โอกาสที่จะเกิด (occurrence) และความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่องนั้น ๆ (detection) จากนั้นนำสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียในการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง มาวิเคราะห์ผลกระทบเพื่อหาค่า RPN และวิเคราะห์สาเหตุที่มีผลกระทบต่อปัญหาโดยใช้แผนภาพพาเรโต เพื่อทำการเลือกผลกระทบที่มีความรุนแรงมากจากหลักการพาเรโต กฎ 80:20 โดยเป็นกฎที่อธิบายหลักการว่าผลลัพธ์ส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 80 มักเกิดจากตัวแปรขนาดเล็กเพียงร้อยละ 20 นำไปทำการแก้ปัญหาต่อไป (Montgomery, 2009) ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แผนภาพพาเรโตดัชนีความเสี่ยงชี้นำ (RPN) ของเวลาสูญเสียในการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง

จากภาพที่ 7 พบว่าสาเหตุที่มีความรุนแรงมากคือค่าความเสี่ยงชี้นำ (RPN) สูง โดยส่งผลกระทบต่อเวลาสูญเสียในการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง มีจำนวน 2 สาเหตุหลัก ได้แก่ เตาให้ความร้อนได้ช้า และยางตัวอย่างที่สุ่มมีน้ำหนักไม่เท่ากัน ตามลำดับ จึงได้นำสาเหตุหลักดังกล่าวมาปรับปรุงแก้ไขต่อไป

4. การดำเนินการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ด้วยการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการมาก่อนหน้านี้ หลังจากนั้นเพื่อหาวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว คณะผู้วิจัยและทีมผู้เชี่ยวชาญจึงได้คิดระดมสมอง (brainstorming) เพื่อกำหนดเป็นวิธีการปรับปรุงแก้ไขในแต่ละสาเหตุหลัก ดังต่อไปนี้

4.1 สาเหตุหลักเนื่องจากเตาให้ความร้อนได้ช้า

โดยวิธีการเดิมเตามีการใช้ฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้า (electric heater) ซึ่งเป็นการส่งผ่านความร้อนจากแหล่งกำเนิดไปยังวัตถุหรือผลิตภัณฑ์ ที่ต้องอาศัยตัวกลาง

ในการนำความร้อน (conduction) หรือพาความร้อน (convection) โดยเป็นการให้ความร้อนจากพื้นผิวภายนอกของวัตถุและความร้อนจะค่อย ๆ ซึมเข้าไปภายในเนื้อวัตถุ ส่งผลให้มีการสูญเสียความร้อนสูง และใช้เวลายาวนานในการต้มยางตัวอย่างในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรก ดังนั้นเพื่อหาวิธีการแก้ไขปัญหานี้จึงได้ทำการปรับปรุงโดยเปลี่ยนฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนเป็นแบบหลอดอินฟราเรด (infrared heater) ซึ่งเป็นการให้ความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน (radiation) ที่ส่งผ่านความร้อนจากแหล่งกำเนิดไปยังวัตถุหรือผลิตภัณฑ์โดยตรง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง ทำให้โมเลกุลของวัตถุที่ได้รับรังสีอินฟราเรดเกิดการดูดซับรังสีฯ และเกิดความร้อนขึ้นจากภายในเนื้อวัตถุ โดยการให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดจะมีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนสูงกว่า ใช้พลังงานน้อยกว่า ใช้ระยะเวลาสั้นกว่า และมีการสูญเสียความร้อนน้อยกว่า (วัชรินทร์, 2556) แสดงดังภาพที่ 8 และภาพที่ 9

ภาพที่ 8 ฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้า (electric heater) แบบเดิม

ภาพที่ 9 ฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟราเรด (infrared heater) แบบใหม่

4.2 สาเหตุยางตัวอย่างที่สุ่มมีน้ำหนักไม่เท่ากัน

เนื่องจากพนักงานไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานที่กำหนด จึงทำการปรับปรุงแก้ไขคู่มือการปฏิบัติงาน (work instruction) เรื่องวิธีการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในขั้นตอนการละลายยาง โดยระบุข้อมูลการนำยางตัวอย่างชั่งน้ำหนักที่แน่นอน เท่ากับ 10.00-10.20 กรัม เท่านั้น เพราะถ้าใส่ยางตัวอย่างในการทดสอบมากเกินไปจะเกิดเวลาสูญเสียในกระบวนการขึ้น และใส่เครื่องหมายข้อควรระวัง (quality concern) เพื่อให้พนักงานตระหนักและปฏิบัติตามในการเตรียมยางตัวอย่างและจัดอบรมชี้แจงปัญหาดังกล่าว เพื่อเป็นการย้ำเตือนพนักงานไม่ให้ผิดพลาดซ้ำอีก ดังภาพที่ 10

วิธีการทดสอบ
(TEST METHOD)
วิธีการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรก
Test Method for determination of Dirt

หมายเลขเอกสาร (Document No.): WI-LAB-01 Rev.02
วันที่มีผลบังคับใช้ (Effective Date): 01 June 2019
หน้าที่ (Page)4 of 6

8. วิธีการทดสอบ (Test Method) (Δ: Quality concern)

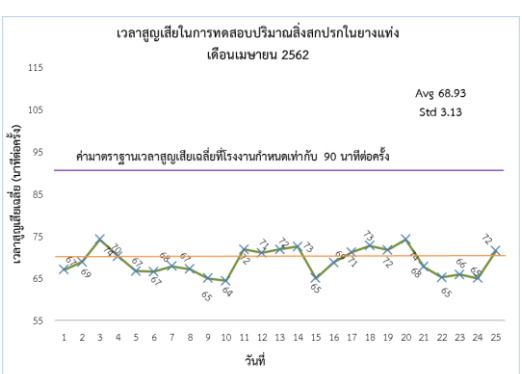
8.1 การละลายยาง (Melting sample)

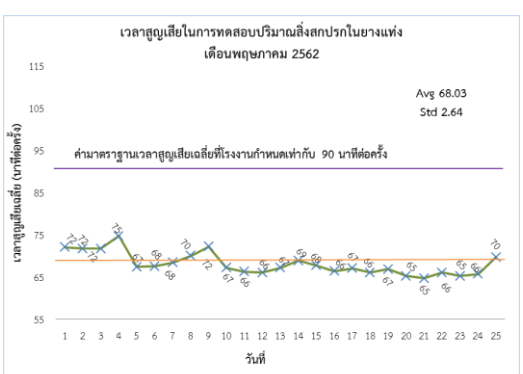
นำตัวอย่างปริมาณ 12 กรัม ที่เตรียมไว้ผ่านเครื่องบด (ซึ่งมีน้ำหล่อเย็นผ่านลูกกลิ้ง) 2 ครั้ง โดยปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.33 ± 0.03 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน 10.00 - 10.20 กรัม (โดยตัดเป็นชิ้นสั้นๆ วางบนเครื่องชั่ง ไม่เกินจานของเครื่องชั่ง) เตรียมน้ำมันสนใส่ขวดขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำมันสนจำนวน 250 มิลลิลิตร และสารตัวเร่งการละลายยาง (kempep) จำนวน 1 ml นำตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนใส่ในสารละลายน้ำมันสน นำไปตั้งไฟที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส (ใช้อุณหภูมิในขวดใส่น้ำมันสน) ยกขวดแก้วออกมาแกว่งเป็นระยะเพื่อช่วยเร่งการละลายให้เร็วขึ้น

(Crepe 2 time and cutting small piece Weight sample about 10.00-10.20 g. Put in to flask 500 ml , add turpentine (white spirit) 250 ml. and kempep 1 ml , Oil 500 ml. bottle for apple filling oil to 250 ml of the melted resin and catalysts (kempep) 1 ml of the sample to know the exact weight of the solution put in the stove at temperature 140 °C

ภาพที่ 10 คู่มือการปฏิบัติงาน เรื่องวิธีการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง

หลังจากได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามแนวทางวิธีการที่กำหนดดังข้อมูลข้างต้นแล้ว คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่งหลังการปรับปรุงเพื่อใช้เปรียบเทียบกระบวนการ โดยเก็บข้อมูลระหว่างเดือนเมษายน-พฤษภาคม พ.ศ. 2562 รวมทั้งหมด 2 เดือน เดือนละ 25 วัน วันละ 6 ครั้ง ใช้ข้อมูลทั้งสิ้น 150 ครั้ง โดยนำข้อมูลมาคำนวณค่าสถิติต่าง ๆ และวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 11



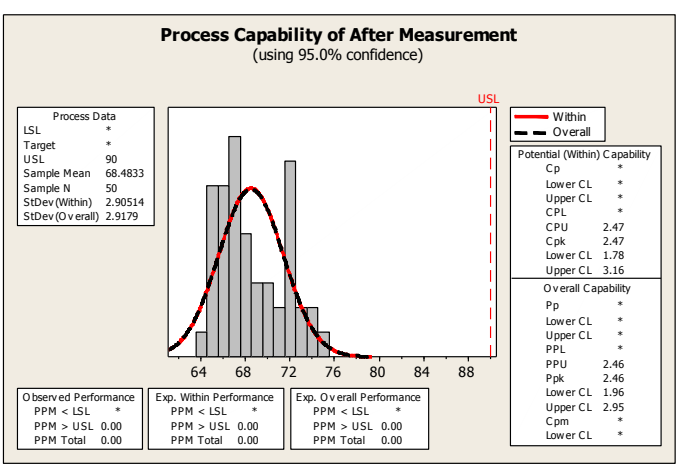


ภาพที่ 11 เวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง ในเดือนเมษายน - พฤษภาคม พ.ศ. 2562

จากภาพที่ 11 พบว่าเวลาสูญเสียในเดือนเมษายน พ.ศ. 2562 คิดเฉลี่ยเป็น 68.93 นาทีต่อครั้ง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.13 นาทีต่อครั้ง ได้ลดลงกว่าเดิมคิดเป็นร้อยละ 55.36 และในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 คิดเฉลี่ยเป็น 68.03 นาทีต่อครั้ง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.64 นาทีต่อครั้ง ได้ลดลงกว่าเดิมคิดเป็นร้อยละ 55.94 จากเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 หลังจากการปรับปรุงกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง สามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงในกระบวนการนี้สามารถลดปัญหาได้จริง และตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Sliva and Ferreira (2017) ได้ใช้แนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่าเพื่อปรับปรุงกระบวนการอัดขึ้นรูปยางรถยนต์พบว่า สามารถลดเวลาการทำงานในกระบวนการผลิตตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนดได้

ตารางที่ 2 ค่าสถิติต่าง ๆ จากผลการทดลองหลังการปรับปรุงเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง ในช่วงระหว่างเดือนเมษายน-พฤษภาคม พ.ศ. 2562

ค่าทางสถิติ	หลังปรับปรุง
เวลาสูญเสียเฉลี่ย (นาทีต่อครั้ง)	68.483
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นาทีต่อครั้ง)	2.903
ขอบเขตบนเวลาสูญเสียเฉลี่ยที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (นาทีต่อครั้ง)	69.172



ภาพที่ 12 การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่งหลังการปรับปรุง

จากภาพที่ 12 พบว่าผลการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการที่ได้จากข้อมูลกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง มีข้อกำหนดด้านบน (USL) เพียงด้านเดียว คือ เวลาสูญเสียในทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง โดยมาตรฐานที่โรงงานกำหนดคือ 90 นาทีต่อครั้ง มีค่า Cpk เท่ากับ 2.47 แสดงว่ากระบวนการอยู่ในเกณฑ์ดี และจากข้อมูลกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงไม่พบความสูญเสียเลย โดยช่วงความเชื่อมั่นของกระบวนการเท่ากับ $1.78 < Cpk < 3.16$

จากการศึกษาต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ จากการคิดจุดคุ้มทุนการลงทุนในการปรับปรุงกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง โดยใช้ฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟราเรด (infrared heater) โดยมีต้นทุนที่ลงทุนอยู่ที่ 95,000 บาท และมีระยะเวลาในการใช้งานได้ 10 ปี พบว่าใน 1 ปีสามารถลดต้นทุนความสูญเสียได้ถึง 65,200 บาท และมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1.46 ปี จึงจะคุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Hassan (2013) และ Kaushik and Khanduja (2011) ทำการลดความสูญเสียโดยประยุกต์ใช้แนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่าในกระบวนการผลิตพบว่าสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้ตามเป้าหมายที่กำหนด

5. การควบคุมกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการควบคุมกระบวนการเพื่อรักษาสภาพหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยมีการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน เขียนบทเรียนหนึ่งประเด็น (one point lesson) ที่ได้จากผลการทดลองที่เหมาะสมจากการปรับปรุงมาแล้วนั้น เพื่อเก็บไว้เป็นมาตรฐานในการทำงานและใช้อบรม (training) ให้คนรุ่นหลังต่อไป จากนั้นคณะผู้วิจัยทำการยืนยันผลการปรับปรุงกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง เพื่อเป็นผลสรุปว่ากระบวนการทดสอบที่ได้รับการปรับปรุงแล้วนั้นสามารถใช้ได้ในระยะยาว โดยได้ทำการทดลองเก็บข้อมูลเวลาสูญเสียทั้งหมด 2 เดือน เดือนละ 10 วัน ในระหว่างเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม พ.ศ. 2562 โดยแบ่งเป็นครั้งที่ 1 (10 วันในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562) และครั้งที่ 2 (10 วันในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562) ใช้ข้อมูลทั้งสิ้น 20 วัน

5.1 การคำนวณค่าสถิติต่าง ๆ

จากผลการทดลองยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ค่าสถิติต่าง ๆ ได้แก่ เวลาสูญเสียเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และขอบเขตบนเวลาสูญเสียเฉลี่ยที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสถิติต่าง ๆ จากผลการทดลองยืนยันผลข้อมูลเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง ในช่วงระหว่างเดือนมิถุนายน – กรกฎาคม พ.ศ. 2562

ค่าทางสถิติ	ยืนยันผล
เวลาสูญเสียเฉลี่ย (นาทีต่อครั้ง)	69.167
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นาทีต่อครั้ง)	2.361
ขอบเขตบนเวลาสูญเสียเฉลี่ยที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (นาทีต่อครั้ง)	70.080

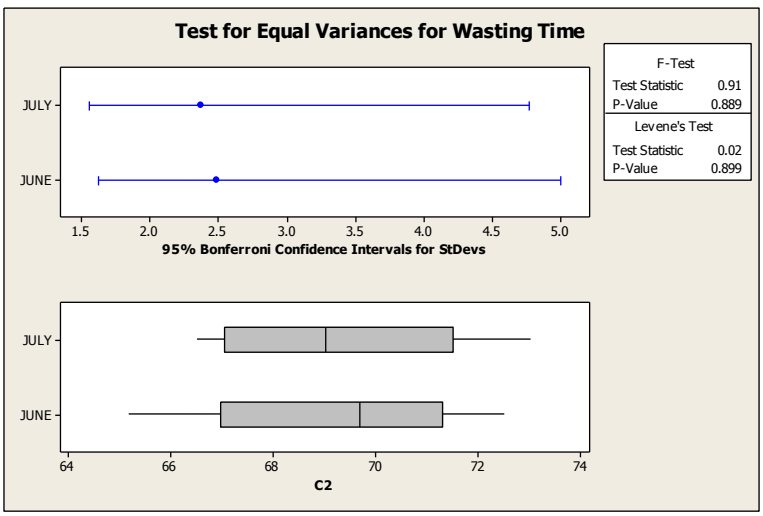
5.2 การทดสอบสมมติฐานกรณีเก็บตัวอย่างสองชุดที่เป็นอิสระต่อกัน

1) การทดสอบความแปรปรวน ในการทดลองเพื่อตรวจสอบเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง จากการเก็บข้อมูล 2 ครั้ง ว่าค่าความแปรปรวนของทั้งสองครั้งนี้มีค่าเท่ากันหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งมีสมมติฐาน ดังนี้

โดยทดสอบว่า $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

จะได้ผลการทดสอบความแปรปรวน ดังนี้



ภาพที่ 13 กราฟแสดงผลการทดสอบความแปรปรวนของการยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากภาพที่ 13 สามารถสรุปได้ว่าค่า p-value = 0.889 > ค่าระดับนัยสำคัญ ดังนั้น จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าไม่มีหลักฐานแน่ชัดที่จะบ่งชี้ว่าค่าความแปรปรวนของเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง ทั้งสองครั้งนี้ไม่เท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) การทดสอบค่าเฉลี่ย ในการทดลองเพื่อตรวจสอบเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง จากการเก็บข้อมูล 2 ครั้ง ว่าค่าเฉลี่ยของทั้งสองครั้งนี้มีค่าเท่ากันหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้

โดยทดสอบว่า $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

จะได้ผลการทดสอบค่าเฉลี่ย ดังนี้

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของการยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูล

แหล่งที่มา	ค่า t-value	องศาเสรี (d.f.)	ค่า p-value
เวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง	0.12	18.00	0.904

จากตารางที่ 4 สามารถสรุปได้ว่าค่า p-value = 0.904 > ค่าระดับนัยสำคัญ ดังนั้น จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง ทั้งสองครั้งนี้ไม่ต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดเวลาสูญเสียในกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง ภายใต้ข้อจำกัดที่เป็นไปได้ และอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด ผลการวิจัยพบว่า ก่อนปรับปรุงกระบวนการทดสอบ เวลาสูญเสียเฉลี่ย 154.413 นาทีต่อครั้ง ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนดคือ 90 นาทีต่อครั้ง ดังนั้นคณะผู้วิจัยและทีมผู้เชี่ยวชาญจึงได้คิดระดมสมอง เพื่อหาวิธีการปรับปรุงแก้ไขในแต่ละสาเหตุหลัก ได้แก่ เตาให้ความร้อนได้ช้า และยางตัวอย่างที่สุ่มมีน้ำหนักไม่เท่ากัน โดยใช้แนวคิดระบบการผลิตแบบลีนซิกซ์ซิกม่าเพื่อปรับปรุงกระบวนการทดสอบ ได้ทำการเปลี่ยนฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนเป็นแบบหลอดอินฟราเรด และทำการปรับปรุงแก้ไขคู่มือการปฏิบัติงาน เรื่องวิธีการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในขั้นตอนการละลายยาง หลังจากได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามแนวทางวิธีการที่กำหนดพบว่า หลังการปรับปรุงกระบวนการทดสอบ เวลาสูญเสียเฉลี่ย 68.483 นาทีต่อครั้ง ได้ลดลงจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 55.65 มีค่าสมรรถภาพกระบวนการหลังการปรับปรุง C_{pk} เท่ากับ 2.47 แสดงว่ากระบวนการอยู่ในเกณฑ์ดี จากข้อมูลกระบวนการหลังการปรับปรุงไม่พบความสูญเสียเลย โดยช่วงความเชื่อมั่นของกระบวนการเท่ากับ $1.78 < C_{pk} < 3.16$

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ โรงงานกรณีศึกษา ที่ได้ให้โอกาสคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อปรับปรุงกระบวนการทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกในยางแท่ง ช่วยเหลืออนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัยฉบับนี้ และเอื้อเฟื้อสถานที่เพื่อการวิจัยด้วยดีเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

นิพนธ์ มณีโชติ และผจงจิต พิจิตบรรจง. (2562). การลดของเสียในกระบวนการผลิตยางแท่ง. *วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย,* 5(1), 66-74.

นิภาส ลีนะธรรม สุวรรณา พลภักดี และภัทราวรรณ คหะวงศ์. (2560). การลดเวลาสูญเสียในแผนกคลังสินค้าด้วยแนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่า : กรณีศึกษา โรงงานผลิตยางแท่ง. ใน *การประชุมวิชาการทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ครั้งที่ 3* (หน้า 130-141). อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.

วัชรินทร์ ดงบัง. (2556). รังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา,* 18(2), 299-304.

ศุภวัชร์ เมฆบูรณ์ และจีรวัฒน์ ปล้องใหม่. (2560). การลดของเสียในกระบวนการผลิตโพลิเมอร์โซลิดคาปาซิเตอร์. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต,* 7(1), 105-123.

สถาบันวิจัยยาง. (2561). *การทดสอบตามมาตรฐานยางแท่งเอสทีอาร์.* กรุงเทพ: กองการยาง กรมวิชาการเกษตร.

สุธี อินทรสกุล บัญชา สมบูรณ์สุข และปุรวิชญ์ พิทยาภินันท์. (2560). อุตสาหกรรมยางพาราไทย: สถานภาพและแนวทางการพัฒนาสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, 8(ฉบับพิเศษ), 80-107.

อำนาจ อมฤก. (2562). การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักร: กรณีศึกษาบริษัท สุพรีม พรีซิชั่น จำกัด. *วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย,* 5(1), 73-95.

Breyfogle III, F.W. (2003). *Implementing Six Sigma: smarter solutions using statistical methods.* Texas: John Wiley & Sons.

Hassan, M. (2013). Applying Lean Six Sigma for waste reduction in a manufacturing environment. *American Journal of Industrial Engineering,* 1(2), 28-35.

Kaushik, P. and Khanduja, D. (2011). DM make up water reduction in thermal power plants using Six Sigma DMAIC methodology. *Journal of Scientific & Industrial Research,* 8(1), 36-42.

Montgomery, D.C. (2005). *Design and analysis of experiments.* New York: John Wiley.

Montgomery, D.C. (2009). *Introduction statistical quality control.* Texas: John Wiley.

Ramasamy, S. (2009). *Total quality management.* New Delhi: McGraw-Hill.

Sliva, T. and Ferreira, P. (2017). Improve the extrusion process in tire production using Six Sigma methodology. In the 3rd *International Conference on Manufacturing Engineering Society MESIC 2017.* (1104-1111). Vigo: Spain.